

## DISEÑO DE MALLAS ELECTROSOLDADAS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS DE ADOBE TÍPICAS DEL PERÚ

ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ<sup>(\*)</sup> Y DANIEL QUIJUN<sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil, Av. Universitaria, Cuadra 18, San Miguel, Lima, Perú.  
email: dquijun@pucp.edu.pe

Recibido: septiembre 2013

Recibido en forma final revisado: marzo 2015

### RESUMEN

Se trata de plantear una teoría simple que permita el diseño estructural del refuerzo sísmico a viviendas de adobe típicas del Perú y los países andinos. El refuerzo consiste en adicionar mallas de alambre electrosoldadas sobre los muros de adobe de las viviendas, de modo que simulen vigas y columnas de confinamiento. Este tipo de refuerzo fue aplicado en viviendas existentes en 1998 en el Perú y luego en otros países andinos. Las viviendas de adobe reforzadas localizadas en las zonas afectadas por los terremotos de 2001 y 2007 ocurridos en Perú tuvieron un buen comportamiento estructural, mientras que viviendas vecinas sufrieron fuertes daños. Este trabajo muestra cómo las fuerzas sísmicas transversales al plano de los muros, se pueden resistir con las mallas dispuestas en las esquinas y las mallas longitudinales. Se verificó el cálculo manual de las fuerzas con un modelo computacional de elementos finitos, logrando coincidencias cercanas.

*Palabras clave:* Adobe, Reforzamiento, Terremoto, Malla Electrosoldada, Diseño Estructural.

### DESIGN OF WELDED MESHES FOR SEISMIC REINFORCEMENT OF ADOBE HOUSES TYPICAL OF PERU

#### ABSTRACT

A simple theory is proposed for the structural design of the seismic reinforcement for adobe houses, typical of Peru and other Andean countries. The reinforcement consists of welded meshes added over the adobe walls, in order to simulate confinement beams and columns. This kind of reinforcement was applied to existing houses in 1998 in Peru and later in other Andean countries. The reinforced adobe houses located in the areas affected by the earthquakes of 2001 and 2007 in Peru had a good structural behavior, while neighbor houses suffered heavy damage. This paper shows how the out-of-plane seismic forces in the adobe walls can be resisted by meshes located at the corners and longitudinal meshes. The hand calculations of the forces were verified with a finite element computer model, with close results.

*Keywords:* Adobe, Reinforcement, Earthquake, Welded Mesh, Structural Design.

### INTRODUCCIÓN

En Perú, según el Censo de Población y Vivienda (INEI, 1994) existían más de 2 millones de viviendas de adobe donde vivían más de 9 millones de pobladores, la mitad de los cuales vive en áreas rurales, en condiciones de pobreza. El proyecto de investigación que se desarrolló entre 1994 y 1999 en el marco del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de las Naciones Unidas, tuvo como objetivo buscar mecanismos para mejorar el comportamiento sísmico de viviendas de adobe existentes en los países andinos (Giesecke *et al.*, 1996); este proyecto fue financiado por la Agencia alemana de cooperación técnica GTZ, administrado por el Centro

Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y ejecutado por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), por ello al proyecto se le conoce como GTZ-CERESIS-PUCP. Con el refuerzo a las viviendas de adobe tradicionales en áreas sísmicas, se lograría proteger la vida de millones de pobladores de escasos recursos, cuyas viviendas tienen una alta vulnerabilidad sísmica, debido al uso de materiales frágiles, un proceso constructivo deficiente, la ausencia de refuerzos, la humedad en los muros, falta de competencia de las cimentaciones, entre otras causas. Las fallas más peligrosas son causadas por los sismos que producen fuerzas perpendiculares al plano de los muros. Los esfuerzos producidos por la flexión producen grietas verticales en las esquinas o encuentros

entre muros perpendiculares, o en la zona central del muro, debido a la poca resistencia a la tracción de la albañilería de adobe (Tejada, 2001).

Tras probar varios tipos de refuerzo, en el proyecto GTZ-CERESIS-PUCP se optó por aplicar como refuerzo sísmico franjas de mallas de alambre electrosoldado simulando confinamientos sobre una serie de viviendas existentes de adobe en proyectos pilotos en Perú y otros países andinos. El personal de la PUCP capacitó a obreros de las distintas localidades visitadas, mientras que los propietarios ayudaron como mano de obra no calificada. En el terremoto de 2001 del sur de Perú (M8.4), seis viviendas reforzadas soportaron el sismo sin daños (San Bartolomé *et al.* 2004), y en el terremoto de 2007 en la costa central de Perú (M8.0), otras cinco viviendas reforzadas también soportaron el sismo sin daños (San Bartolomé *et al.*, 2008). En cambio, viviendas vecinas de adobe tradicional colapsaron o tuvieron daños severos.

En vista del excelente resultado tras el terremoto de 2001, la agencia alemana de cooperación técnica GTZ, financió y promovió la construcción de unas 400 nuevas viviendas con este tipo de refuerzo en la zona alto andina de Arequipa, Perú afectada por el sismo (Castañeda *et al.*, 2003). Además para afianzar la experiencia en la zona, se redactaron dos manuales de construcción mejorada con adobe (GTZ-COPASA, 2005, a y b) y se construyeron oficinas, locales comunales y postas médicas (Chuquimia *et al.*, 2005). Las dos experiencias sísmicas de 2001 y 2007, demuestran que es posible reforzar viviendas de adobe existentes para que resistan sismos fuertes sin daños.

Cabe mencionar que la Norma E.080 de Adobe peruana (SENCICO, 2000) incluye como refuerzos especiales a cañas, maderas, mallas de alambre y columnas y vigas de concreto armado. La norma E.080 indica que la malla de alambre se puede usar como refuerzo exterior al muro, anclado adecuadamente a él, y protegido con una capa de mortero de cemento-arena. Las mallas en las dos caras del muro se unirán mediante elementos de conexión a través del muro. No se ofrecen procedimientos de análisis ni de diseño. Por ello, este trabajo contribuye a brindar un procedimiento sencillo de análisis y diseño estructural basado en las leyes de la mecánica.

## OBJETIVOS

Las mallas electrosoldadas, que simulan vigas y columnas de confinamiento en muros de mampostería, cumplen la misión de integrar los muros de adobe transversales entre sí, de modo que ante las fuerzas de sismos, se evite la

separación de estos muros. El objetivo de este trabajo es mostrar un procedimiento de cálculo sencillo de las fuerzas que llegan a las mallas que permita su diseño, lo cual se puso a debate en el Comité Técnico Peruano de Adobe, a cargo de la actualización de la Norma E.080 (San Bartolomé, 2013). Las franjas de mallas se diseñan para soportar las acciones sísmicas transversales al plano de los muros de adobe “w”, en  $\text{kg/m}^2$ . La carga de rotura “w” es proporcionada por la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente de Perú (SENCICO, 2006), ésta depende de la zona sísmica (factor Z), de la importancia de la edificación (factor U), de un coeficiente sísmico (C1), todos los cuales multiplican al peso del elemento (P).

Las mallas electrosoldadas se comercializan en rollos de 0.9 m de ancho con 30 a 50 m de largo, éstas están formadas por alambres de 1 mm de diámetro con espaciamiento cada 19 mm o  $\frac{3}{4}$ ” (cocada cuadrada), presentan una resistencia a la rotura de 220 kg/m (2.15 kN/m). Para su acabado y protección del medio ambiente, se recubren con mortero de cemento: arena 1:5 en proporción volumétrica (figura 1).



**Figura 1.** Malla electrosoldada, instalación y recubrimiento

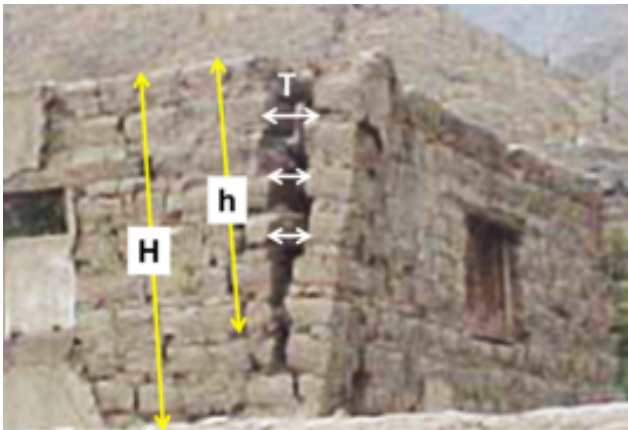
Las mallas a diseñar son las esquineras (similares a “columnas”) y las longitudinales a colocar en los bordes superiores de los muros (similares a “vigas soleras”). Este diseño aplica para viviendas de adobe existentes y nuevas. Debe considerarse que si una capa de malla no fuese suficiente, puede emplearse dos y hasta tres capas.

## DISEÑO DE MALLAS ESQUINERAS

Estas mallas no necesitan anclar ni en la cimentación ni en el techo, por tanto, para reforzar viviendas existentes no se necesita desmontar el techo. Esto se debe a que los muros de adobe se deforman principalmente por fuerza cortante, existiendo poca curvatura por flexión.

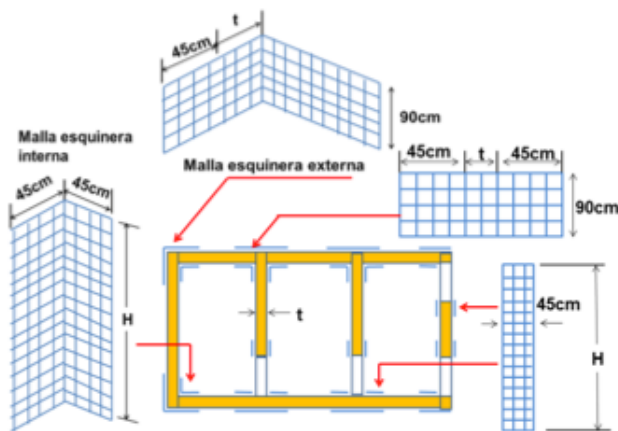
Puesto que la falla por desgarramiento en el encuentro entre muros transversales se propaga desde arriba hacia abajo

(figura 2), para el cálculo de la Tracción “T” en el encuentro entre muros, puede trabajarse con una altura efectiva  $h = \frac{3}{4} H$ , donde “H” es la altura total del muro.



**Figura 2.** Propagación de la falla por desgarramiento entre muros perpendiculares

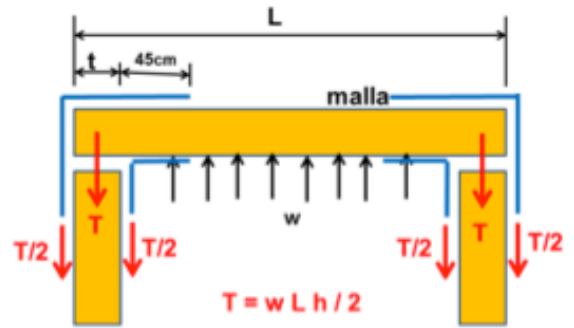
Las mallas esquineras internas tendrán 0.9 m de ancho total (ancho del rollo comercial) y se extenderán verticalmente toda la altura del muro (H), doblando 0.45 m a 90° en cada muro (figura 3).



**Figura 3.** Mallas esquineras y otras verticales

Las mallas esquineras externas estarán compuestas por varias franjas continuas de altura 0.9 m, traslapadas verticalmente 0.1 m, hasta completar la altura total del muro. La longitud total de cada franja es igual a  $2t + 0.9$  m, donde “t” es el espesor del muro en metros.

Luego de que el sismo genere la fisura vertical en el encuentro entre los muros transversales, tal como se muestra en la figura 4, el muro se articulará en sus extremos (separados una distancia “L”) y por equilibrio se determinará la fuerza en tracción en cada extremo:  $T = \frac{1}{2} w L h$  (en kg).



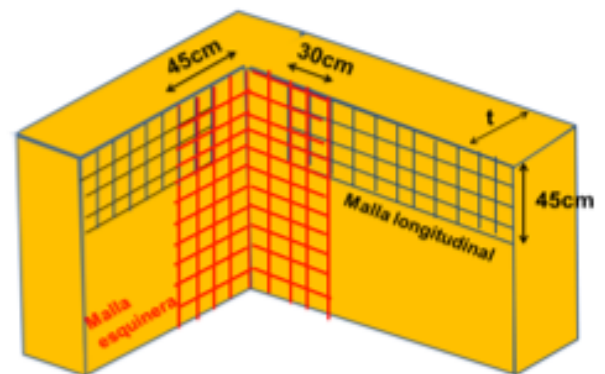
**Figura 4.** Diseño de Malla Esquinera

Esta fuerza de tracción se reparte entre las 2 mallas instaladas en cada esquina ( $\frac{1}{2} T$ ) y deberá verificarse que la fuerza de rotura actuante no sobrepase la resistencia de la malla a tracción ( $220 H$ , en kg).

### DISEÑO DE LAS MALLAS LONGITUDINALES

Estas mallas se instalan en la parte interna y externa de los muros, cubriendo el borde superior de éstos, para unir las franjas de mallas verticales y simular una viga solera de confinamiento.

El ancho de estas mallas es 0.45 m (la mitad del ancho del rollo comercial) y su longitud se traslapa 0.30 m con las mallas esquineras (figura 5). En la zona central del muro la malla longitudinal debe ser continua.



**Figura 5.** Malla longitudinal y su traslape con la Malla Esquinera

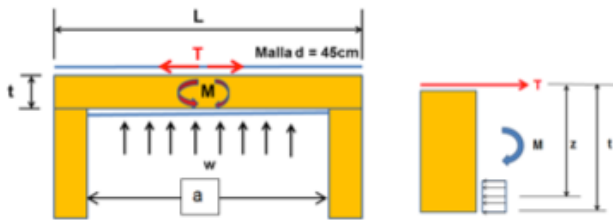
Las mallas se diseñan para controlar la grieta de tracción por flexión localizada en la parte central del muro, la misma que se propaga desde arriba hacia abajo (figura 6). Puesto que el momento flector es máximo en la parte central superior del muro y nulo en la base, podrá trabajarse con un momento flector promedio repartido a lo largo de la altura ( $\frac{1}{2} M$ ).



**Figura 6.** Propagación de la falla por flexión en el centro del muro y variación del momento flector “M” en la altura

Asimismo, podrá suponerse que el muro se encuentra arriostrado en 3 bordes, con el borde superior libre y con una longitud libre  $a = L - 2 t$ .

Tal como se muestra en la figura 7, el momento flector “M” en la zona central superior, por unidad de altura, puede ser encontrado mediante la tabla 12 de la Norma E.070 (SENCICO 2006), ver Anexo.



**Figura 7.** Diseño de la Malla Longitudinal

Admitiéndose que el muro está arriostrado en 3 bordes, mediante la expresión 1:

$$M = m w a^2 \quad (1)$$

En la expresión (1), “m” es un coeficiente adimensional de momentos; y la distancia “a”, longitud del borde libre se calcula como  $a = L - 2 t$  = (figura 7).

Para el diseño de la malla se usará  $\frac{1}{2} M$ .

Una vez que se calcula “ $\frac{1}{2} M$ ”, se le divide entre un brazo de palanca z, que se propone sea  $z = 0.9 t$ , para hallar la tracción promedio en la malla longitudinal, es decir:  $T = M / z$ .

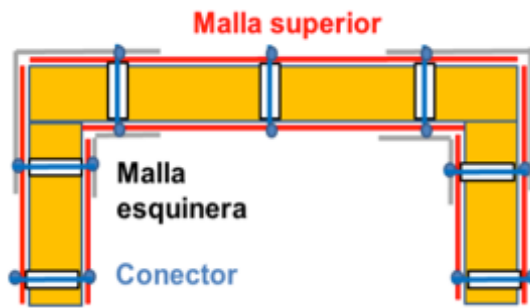
De este modo, la carga de rotura “T” deberá ser menor que la resistencia de la malla: 220 kg/m. En caso contrario, se agregará 1 o 2 capas de malla adicionales.

Otra forma más conservadora de determinar “M” es

suponiendo que la franja superior está biarticulada, con lo cual:  $M = 1/8 w a^2$ .

## INTEGRACIÓN DE LAS MALLAS Y EL MURO

Para que las mallas funcionen integralmente con el muro, sin desprenderse durante el sismo, es necesario interconectarlas. En el Perú se emplea alambre delgado denominado #8 (cuyo diámetro es de 4.2 mm en promedio) para fijar tablas de encofrados de madera en general. Para el caso de la interconexión entre las mallas, se utiliza una porción de este alambre, a la que se denomina “conector”, pasando a través de perforaciones de 5x5 cm distanciadas cada 0.5 m, y doblen 0.1 m a 90° en los extremos (figura 8).



**Figura 8.** Distribución de conectores cada 0.5 m

Estas perforaciones deben rellenarse con mortero 1:5, y en su lugar puede emplearse paja rafia (figura 9) que pase a través de perforaciones más pequeñas espaciadas cada 0.25 m.



**Figura 9.** Conectores de paja rafia cada 0.25 m

## SECUENCIA EN LA INSTALACIÓN DE LAS MALLAS

La secuencia ordenada que se debe seguir para instalar las mallas de refuerzo es la siguiente:

- a. Limpiar toda la zona donde irán las mallas. Para el caso de viviendas existentes debe removerse el tarrajeo (figura 10), si es que existe.



**Figura 10.** Eliminación del tarrajeo existente

b. Realizar las perforaciones de 5x5 cm cada 0.5 m donde irán los conectores de alambre (figura 11). Instalar el conector y taponar la perforación con mortero 1:5 (figura 12).



**Figura 11.** Perforaciones cada 0.50 m



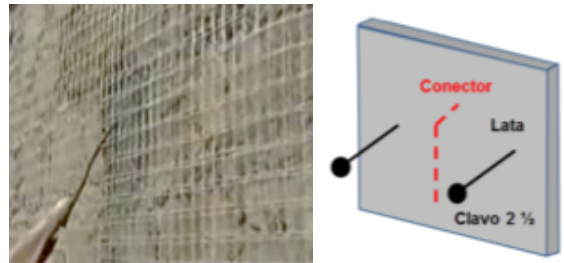
**Figura 12.** Instalación del conector y taponado de la perforación

c. Instalar la malla fijándola con chapas (figura 13) o retazos de madera o lata, clavándola al muro cada 0.25 m. Se evitará la formación de bolsones.

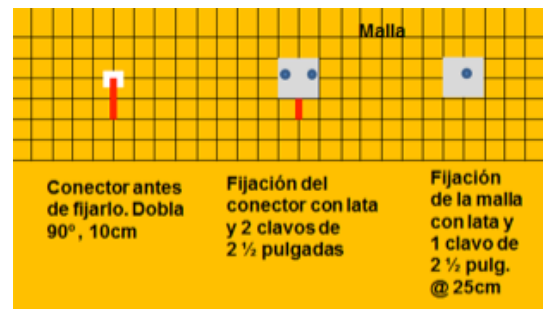
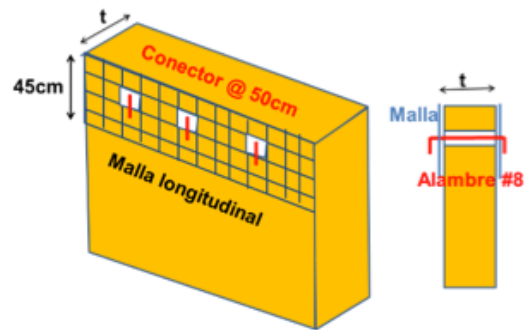


**Figura 13.** Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa

Luego se debe doblar el conector a 90°, y se fijará al muro con otras chapas o retazos de lata o madera, clavándolo con doble clavo de 2.5 pulgadas (figuras 14 y 15).



**Figura 14.** Doble del conector y fijación con 2 clavos y lata



**Figura 15.** Doble del conector y fijación con 2 clavos y lata

d. Proteger las mallas recubriéndolas con un tarrajeo cemento-arena fina 1:5 (figura 16).



**Figura 16.** Tarrajeo de la malla con mortero 1:5

Para ilustración global del comportamiento y las variables del diseño estructural de la malla esquinera se puede observar la figura 17, y de la malla longitudinal en la figura 18.

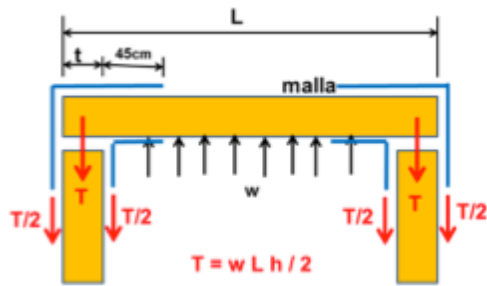


Figura 17. Diseño de la malla esquinera

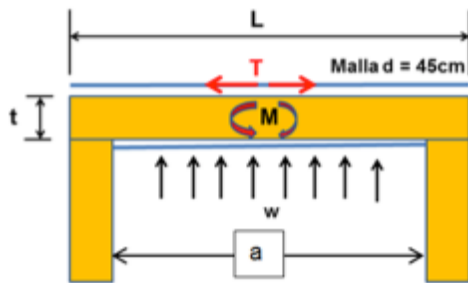


Figura 18. Diseño de la malla longitudinal

## EJEMPLO NUMÉRICO DE DISEÑO

### Diseño de la Malla Esquinera

Se va a suponer:

$L$  = longitud total del muro = 4.5m

$t$  = espesor del muro = 0.3m

$w$  = carga de rotura =  $Z U C1 P$  [NORMA E.030 (Sencico 2006)]

$Z = 0.4$ , factor de zona, costa del Perú

$U = 1$ , factor de uso (vivienda)

$C1 = 0.9$  (el muro está dentro de una edificación, arriostrado por las mallas)

$P = \gamma t$  = peso del muro por unidad de área

$\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$  = peso volumétrico del adobe

$w = 0.4 \times 1 \times 0.9 \times 1600 \times 0.3 = 173 \text{ kg/m}^2$

$H = 3\text{m}$  = altura total

$h = \frac{3}{4} H = 2.25\text{m}$  = altura efectiva para hallar la fuerza de tracción  $T$

$T = \frac{1}{2} w L h = \frac{1}{2} \times 173 \times 4.5 \times 2.25 = 876 \text{ kg}$

Para cada malla:  $\frac{1}{2} T = 438 \text{ kg}$ , repartida a lo largo de la altura  $H$ :  $438 / 3 = 146 \text{ kg/m}$ . La fuerza actuante ( $146 \text{ kg/m}$ ) es menor que la resistencia de la malla ( $220 \text{ kg/m}$ ), por lo que no se necesita colocar otra capa de malla.

### Diseño de la Malla Longitudinal Superior

Se va a trabajar con los mismos datos empleados para el diseño de la malla esquinera.

$L$  = longitud total del muro = 4.5m

$t$  = espesor del muro = 0.3m

$w$  = carga sísmica de rotura =  $Z U C1 \gamma t = 173 \text{ kg/m}^2$

$a = L - 2t = 4.5 - 2 \times 0.3 = 3.9\text{m}$  = longitud libre

$H$  = altura total = 3.0m

Suponiendo que el muro está arriostrado en 3 bordes, e ingresando a la tabla 12 de la NORMA E.070 (Sencico 2006), ver Anexo, se obtiene:

$H / a = 3 / 3.9 = 0.77$

$m = 0.094$  = coeficiente de momento

$M = m w a^2 = 0.094 \times 173 \times 3.9^2 = 247 \text{ kg-m/m}$  = momento flector en la zona central superior.

Asumiéndose que  $M = 0$  en la base del muro, entonces el momento promedio a lo largo de la altura del muro será:  $M = \frac{1}{2} \times 247 = 124 \text{ kg-m/m}$ .

Para un brazo de palanca  $z = 0.9 t = 0.9 \times 0.3 = 0.27\text{m}$ , la tracción  $T$  en la malla resulta:

$T = M / z = 124 / 0.27 = 459 \text{ kg/m}$ . La tracción actuante ( $459 \text{ kg/m}$ ) resulta 2.09 veces mayor que la resistencia de la malla ( $220 \text{ kg/m}$ ), por lo que debe emplearse 2 capas de malla (figura 19) en la zona central superior. La segunda capa debe extenderse la mitad de la longitud libre, es decir hasta:  $\frac{1}{2} a \approx 2\text{m}$ .

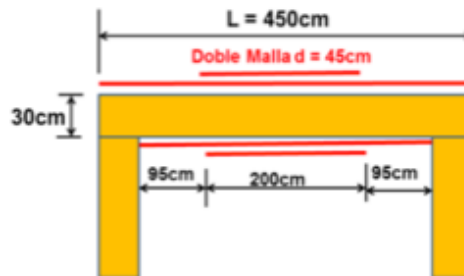


Figura 19. Doble malla longitudinal

### ANÁLISIS DEL EJEMPLO NUMÉRICO MEDIANTE EL SAP2000

Con la finalidad de verificar los resultados numéricos del análisis hecho manualmente en el acápite 6, se modeló al muro en diseño mediante el programa SAP2000 versión 15.0.0.

## Modelo matemático y datos para el SAP

- $a = \text{luz libre} = 390\text{cm}$
- $H = \text{altura total} = 300\text{cm}$
- $t = \text{espesor} = 30\text{cm}$
- Elementos finitos tipo Shell  $19.5 \times 18.75 \text{ cm}$  (total  $20 \times 16 = 320$  elementos de adobe)
- $E = \text{módulo de elasticidad del adobe} = 3000 \text{ kg/cm}^2$
- $\nu = \text{módulo de Poisson} = 0.25$
- Bordes verticales y horizontal inferior con apoyo articulado (arriostres)
- La carga repartida  $w = 173 \text{ kg/m}^2$ , se multiplicó por el área ( $3 \times 3.9 \text{ m}^2$ ) para hallar la carga total, luego se dividió entre el número de nudos libres ( $19 \times 16 = 304$ ), para así obtener la carga concentrada sísmica en cada nudo:  $F_n = 6.66 \text{ kg}$ .

En la figura 20 se muestra el modelo matemático.

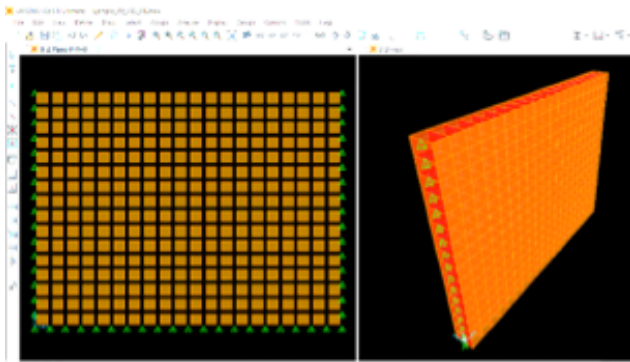


Figura 20. Modelo de elementos finitos para el muro arriostrado en 3 bordes

## Resultados del SAP

Para el diseño de la malla longitudinal superior, se requiere conocer el momento flector en la zona central superior ( $M$ ). En el ejemplo numérico manual se obtuvo  $M = 247 \text{ kg-m/m} = 247 \text{ kg-cm/cm}$ . Aparte, se supuso que  $M$  variaba linealmente a lo largo de la altura y era nulo en la base, como se indicó en el acápite sobre el diseño de la malla longitudinal superior.

Para el modelo en SAP, este momento es  $M_{11}$ , y es máximo en el centro superior del muro:  $M_{11} = 270 \text{ kg-cm/cm}$  (figura 21). En el centro el momento es la mitad y en la base es nulo. De este modo, se concluye que no hay mayor diferencia con el análisis manual.

Para el diseño de la malla esquinera se requiere conocer la tracción en el encuentro entre los muros transversales. Esta tracción resultó  $T = 876 \text{ kg}$  para el análisis manual.

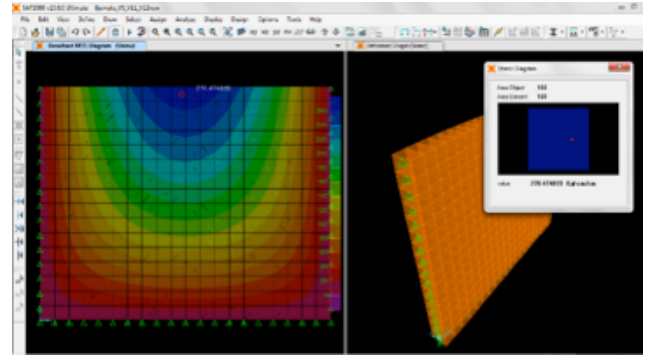


Figura 21. Variación del momento flector  $M_{11}$

Para el caso del análisis con el SAP, esta tracción se obtiene sumando las reacciones “ $R_v$ ” (figuras 22 y 23) en uno de los bordes verticales.

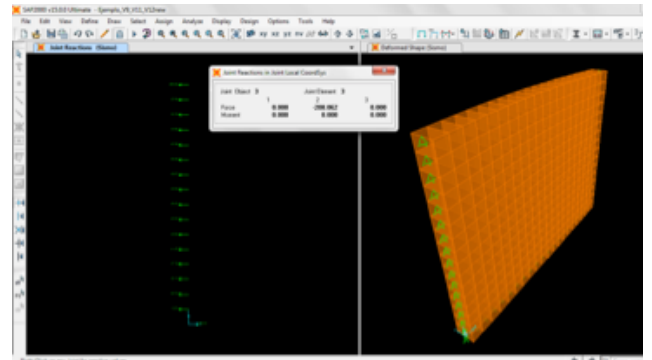


Figura 22. Reacciones “ $R_v$ ” en uno de los bordes verticales

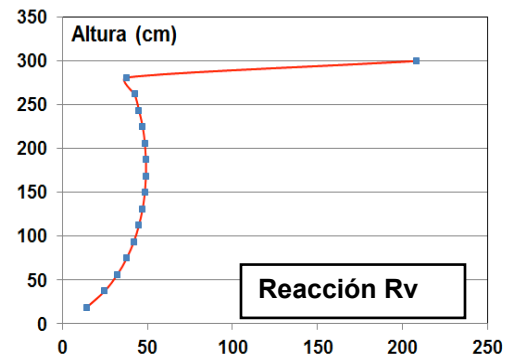


Figura 23. Variación de la reacción “ $R_v$ ” en uno de los bordes verticales

Estos resultados están tabulados desde arriba hacia abajo en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Variación de la reacción Rv (kg) en uno de los bordes verticales

Altura (cm)	Reacción Rv (kg)
18.75	14.1
37.50	24.7
56.25	32.2
75.0	37.7
93.75	41.9
112.50	44.9
131.25	47.1
150.00	48.4
168.75	49.1
187.50	49.0
206.25	48.4
225.00	47.1
243.75	44.9
262.50	42.3
281.25	37.5
300.00	208.1

La suma total de las reacciones de la Tabla 1 es:  $T = 817$  kg, valor que difiere poco del obtenido manualmente ( $T = 876$  kg). Sin embargo, en la Tabla 1 se nota una gran reacción en el borde extremo superior (208 kg), para después mantenerse casi uniforme (46 kg en promedio), y en la cuarta parte inferior del muro, la reacción decrece (figura 23).

### RECOMENDACIONES PARA NUEVAS INVESTIGACIONES

La metodología de refuerzo propuesta para construcciones de adobe se ha empleado experimentalmente en viviendas reales del Perú y otros países andinos, cuyos muros tienen un ancho de 0.25 a 0.30m, y alturas menores a 2.5m. Es por ello recomendable hacer más investigaciones para muros de mayor grosor y altura, tales como los empleados en escuelas, iglesias o ambientes de reuniones, donde quizás sea necesario usar otro tipo de mallas y conectores de mayor resistencia.

Es necesario realizar ensayos de tracción por flexión en elementos de adobe, tales como vigas reforzadas con la malla electrosoldada y recubiertas con mortero, para así determinar el aporte del tarrajeo a la resistencia. En esos ensayos debe variarse la cantidad de capas de malla. Cabe señalar que en el ejemplo numérico resuelto en este artículo, se supuso que sólo la malla aportaba resistencia a flexión, y por ello falta determinar el aporte del mortero.

### CONCLUSIONES

- En base al buen comportamiento observado del sistema de refuerzo de la malla electrosoldada en varias viviendas reales en dos terremotos en el Perú (ver figura 24), se ha propuesto una metodología de diseño estructural, donde las fuerzas causadas por sismos, son resistidas por la malla de alambre electrosoldada especificada. Esta propuesta ha sido entregada al Comité de Adobe peruano para su discusión y revisión.



**Figura 24.** Comportamiento de las viviendas reforzadas con la malla y sin reforzar ante los terremotos del 2001 y 2007 en Perú

- Los resultados de la técnica de elementos finitos coincidieron con la técnica manual de cálculo, en la tracción entre muros perpendiculares y en el momento flector superior central.

### REFERENCIAS

- CHUQUIMIA E., HAIDER J., QUIUN D. (2005). Construcción sismo resistente en adobe: una alternativa para edificaciones públicas. Seminario Internacional Arquitectura, Construcción y Conservación de Edificaciones de tierra en áreas sísmicas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- GIESECKE, A., ZEGARRA L., SAN BARTOLOMÉ A., QUIUN D. (1996). Reaconditioning of existing adobe houses to mitigate earthquake effects. 11th World Conference on Earthquake Engineering, paper 666. Acapulco, México.
- CASTAÑEDA M. CHUQUIMIA E., WAMSLER C. (2003). Perú - Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo. Eschborn: GTZ; pp. 1-14.



GTZ, COPASA, GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA, PUCP (2005). Manual para elaborar adobes mejorados. Arequipa: Editorial Industria Gráfica Regentus; pp. 1-20.

GTZ, COPASA, GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA, PUCP (2005). Manual de construcciones sismo resistentes en adobe. Arequipa: Editorial Industria Gráfica Regentus; pp. 1-60.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (1994). Censos Nacionales: IX de Población y IV de Vivienda. Tomo III, Lima, Perú.

SAN BARTOLOMÉ A., QUIUN D., ZEGARRA L. (2004). Effective system for seismic reinforcement of adobe houses. 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper 3321. Vancouver, Canada.

SAN BARTOLOMÉ A., QUIUN D., ZEGARRA L. (2008). Performance of reinforced adobe houses in Pisco, Peru earthquake. 14th World Conference on Earthquake Engineering, paper 1075. Beijing, China.

SAN BARTOLOMÉ A. & QUIUN D. (2013). Diseño de Mallas electrosoldadas. Propuesta de capítulo para la norma E.080 no publicada, SENCICO, Lima Perú.

SENCICO (2006). NORMA E.030 Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, primera edición.

SENCICO (2006). NORMA E.070 Albañilería. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, primera edición.

SENCICO (2000). NORMA E.080 Adobe. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, primera edición.

TEJADA U. (2001). Buena Tierra. Apuntes para el Diseño y construcción con Adobe. Consideraciones Sismorresistentes. Lima: CIDAP; pp. 81-83.

## ANEXO

Tabla 12 de la Norma E.070 “Albañilería” (SENCICO 2006)

TABLA 12 VALORES DEL COEFICIENTE DE MOMENTOS "m" y DIMENSION CRITICA "a"								
<b>CASO 1. MURO CON CUATRO BORDES ARRIOSTRADOS</b>								
a = Menor dimensión								
b/a = 1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	∞	
m = 0,0479	0,0627	0,0755	0,0862	0,0948	0,1017	0,118	0,125	
<b>CASO 2. MURO CON TRES BORDES ARRIOSTRADOS</b>								
a = Longitud del borde libre								
b/a = 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	∞
m = 0,060	0,074	0,087	0,097	0,106	0,112	0,128	0,132	0,133
<b>CASO 3. MURO ARRIOSTRADO SOLO EN SUS BORDES HORIZONTALES</b>								
a = Altura del muro								
m = 0,125								
<b>CASO 4. MURO EN VOLADIZO</b>								
a = Altura del muro								
m = 0,5								